

# 基于麦克纳姆轮的智能搬运机器人

章扬, 周子尧, 杨皓斌

(杭州电子科技大学 电子信息学院, 浙江杭州, 310018)

**摘要:** 本项目以恩智浦的RT1064单片机作为主控, 使用RT-Thread嵌入式系统开发, 以麦克纳姆轮为框架, 自主搭建车模结构, 加装有刷电机和1024编码器, 搭载了树莓派和开源三周机械臂结构, 以及MT9V032总钻风摄像头还有openart mini等摄像头, 作为智能搬运机器人的硬件设备。搬运机器人主要有智能识别和远程控制两种方式。通过PID参数整定, 车体姿态解算, 机械臂姿态解算, 机器视觉图像处理, 深度学习和神经网络以及路径规划等多种学科知识, 实现了机器人自动化搬运任务。通过VNC远程连接设备, 远程串口通信等方式方法实现人工远程干预。通过场外摄像头识别出搬运物体的位置, 再由上位机进行路径规划[6]。通过PID参数整定和车体姿态解算控制搬运机器人移动, 到达搬运地点再由总钻风摄像头进行细致的位置调整。Openart mini识别搬运物种类, 通过机械臂姿态解算拾取放置在托盘上, 这时候可能存在一定偏差, 可以通过树莓派远程观察搬运情况, 远程人工操控来修正偏差。最后通过麦克纳姆轮来实现快速的全方向搬运, 将搬运物送到终点。本项目能够在固有的已知场地内也可以设定进行货物的识别搬运, 可以适应物流分拣等场景, 大大提高了生产效率, 解放了生产力。

**关键词:** 麦克纳姆轮; 自动搬运; 机器视觉; 深度学习; 远程人工控制

## 0 引言

随着科学技术的不断进步, 智能控制和神经网络应用正逐渐渗透到各个领域。传统行业, 如机械和电子制造, 也在不断向前发展, 成为当前的研究热点, 并已经逐步实现产品化。此外, 物流行业的崛起促使物流机器人的涌现和不断发展。

目前的物流机器人在高效地完成搬运任务方面表现出色, 然而, 它们尚未具备物品识别和分类的功能, 无法辨别贵重物品和普通物品, 需要人工干预进行分类, 这限制了其完全释放人力生产力的潜力。此外, 这类机器人缺乏远程监控和操作功能, 不能在应对突发问题时进行远程操控。鉴于上述两个问题, 我们提出了当前领域的挑战。

我们的项目具备在已知场地内执行货物识别和搬运任务的能力, 适用于各种物流分拣等场景, 极大提升了生产效率, 实现了生产力的最大释放。此外, 它还具备在未知或突发情况下进行远程控制和探索道路的能力, 使人能够应对突发情况, 并进行简单的搬运任务, 将潜在风险和损失降至最低。此外, 它还可以进行固有功能之外的操作, 实现更多的功能。

## 1 系统总体设计

本系统的整体框图如图1所示。它包括主控板、机械臂、舵机、摄像头、电机、电机驱动电路、编码器、电池、电源电路。

本系统的主要工作部件是机械臂、摄像头和电动机。为了控制这三个部件执行相应的动作, 我们采用舵机控制机械臂运动, 电机驱动电路、编码器控制电机转向和速度, 进一步操控车身运动轨迹。此外, 主控板负责处理摄像头传来的视频数据, 分析得到结果后将行动命令传递给电机和机械臂。整个系统的供电由电池和电源电路提供。

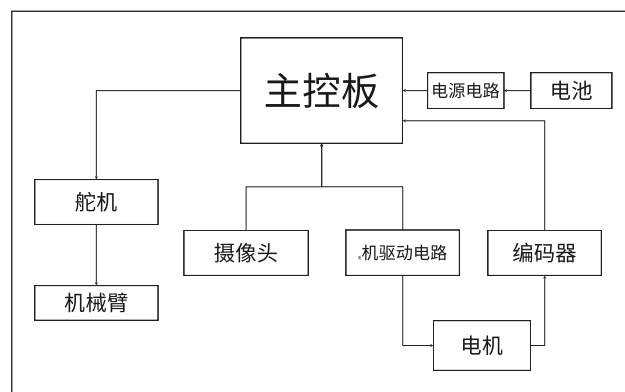


图1 系统框图

## 2 硬件电路设计

硬件是整个系统最基础的一部分, 良好的硬件设计是实现软件编程设计的基础, 才能保证智能车运行流畅稳定。根据车身结构来合理布局, 确定电路板的尺寸以及固定孔位置, 车模更加一体化。硬件电路设计的开始, 要进行主控芯片的选择, 主控芯片要考虑算力, 是否能够满足图像处理的要求, 芯片主频能否满足传输速率的要求等。整个硬件系统主要包括电源供电电路、电机驱动电路、运算放大电路等, 将各个电路设计到一起时, 需要考虑到供电的稳定性。

### 2.1 主控芯片选择

主控芯片使用的是 NXP 公司生产的 I.MX RT1064<sup>[5]</sup>, 此款芯片基于 Cortex-M7 内核, 主频高达 600MHz, CPU 运算速度快, 这意味着在对摄像头采集的图像做图像处理的时候会有很强的运算性能, 为大量复杂的运算提供了更大的算力, 增加了数据处理的速度, 增强了图像处理能力。同时, 此款芯片还有 1M 的片内 SRAM, 可以将一些较为复杂程序中的一些中间变量放入特殊的内存, 提高数据处理的速率。

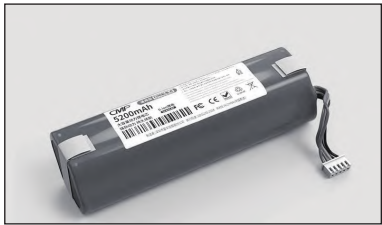


图 2 锂聚合物电池

2.2 电源电路的设计

2.2.1 电池的选择

电池选用锂聚合物电池，规格型号为 11.1V 2600mA。能够满足智能车中速运行大概半个多小时，续航时间长。并且该电池的尺寸很符合放置在车模底盘，不会影响车模运行情况 & 观感。

电路根据不同外设供电需要，需要从 11.1V 锂聚合物电池设计不同的稳压电路，用来提供 6V 舵机供电、3.3V 单片机供电、5V 编码器供电，另外电机的供电直接使用电池输出电压，无需做稳压处理。

2.2.2 5V 稳压电路的设计

TPS54540 是一款 42V，5A 降压稳压器，此稳压器具有一个集成的高侧 MOSFET。按照 ISO 7637 标准，此器

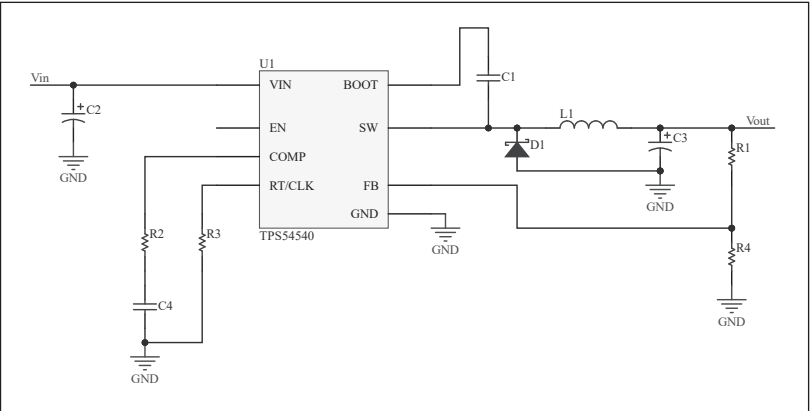


图 3 TPS54540 简化电路图

表1 TPS545450 管脚功能表

管脚号	管脚名字	管脚功能
1	BOOT	接自举电容到SW脚
2	VIN	芯片供电脚
3	EN	欠压锁使能脚
4	CLK	接定时电阻，控制开关频率
5	FB	电压反馈引脚，调节输出电压
6	CONP	频率补偿引脚
7	GND	接地
8	SW	芯片输出端

表2 LM2596S管脚功能表

管脚号	管脚名字	管脚功能
1	VIN	正输入端，该管脚一般提供一个旁路电容减少暂态电压
2	Output	输出端，输出端一般接一个LC滤波器，滤除高频干扰
3	Ground	接地端
4	Feedback	反馈端，这个管脚把输出端的电压反馈到闭环反馈回路
5	ON/OFF	这个管脚可以使用逻辑电平把 LM2596 切断，低电平该芯片工作

件能够耐受高达 45V 的抛负载脉冲。电流模 式控制提供了简单的外部补偿和灵活的组件选择。一个低纹波脉冲跳跃模式将无负载时的电源电流减小至 146μA。当启用引脚被拉至低电平时，关断电源电流被 减少至 2μA。这块芯片不

仅体积小，输出稳定，输出电流更是可达 5A，极高的开关频率可以很好地为后方各种用电元件提供足够的功率。经过实测，输出端带载 1A 情况下纹波只有 50mV，精度可达 5%。用 TPS545450 稳压至 5V 后，使用简单而稳定的 AMS1117( LDO) 电源稳压至 3.3V 即可。

5V 稳压原理图电路设计如图 4 所示。

2.2.3 6V 稳压电路的设计

LM2596s 开关电压调节器是降压型电源管理单片集成电路，能够输出 3A 的驱

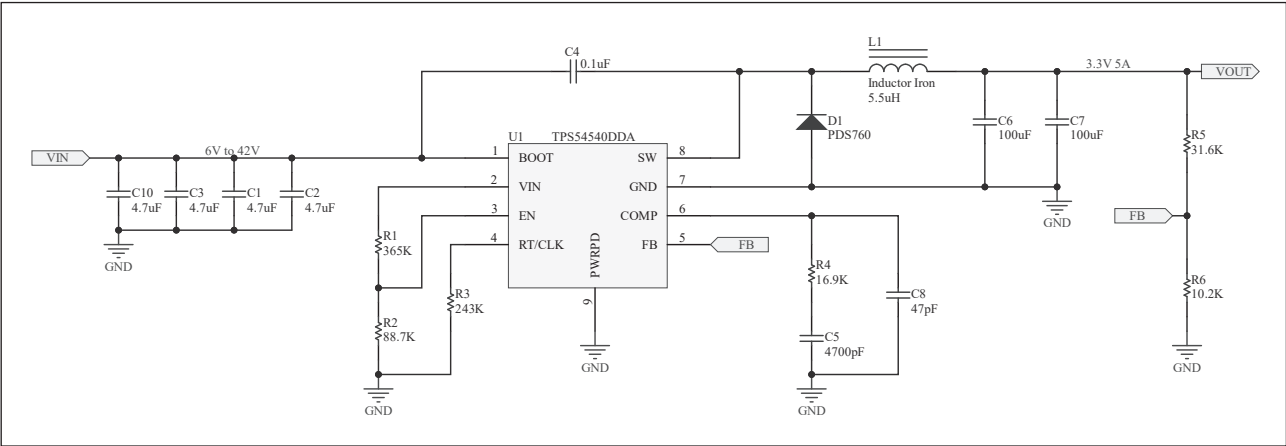


图 4 TPS54540 设计原理图

动电流。相比于另外一款稳压芯片——AMS1117，能够带动更大的负载。

6V 稳压原理图电路设计如图 5 所示。

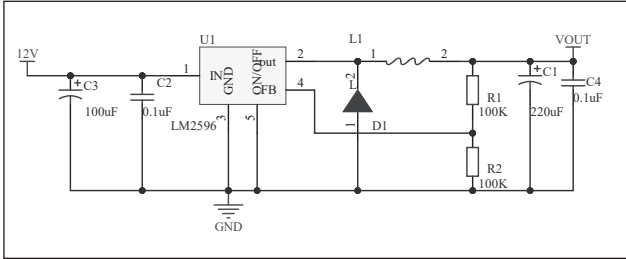


图 5 稳压原理图

2.2.4 3.3V 稳压电路的设计

3V3 稳压模块主要是用 AMS1117 在 5V 稳压基础上再做稳压，AMS1117 是一种固定输出调节器，是一种低压差线性稳压器，最大可输出 500mA 电流，可以给编码器，TFT 显示屏等供电，这种供电的方式使输出电源受干扰小，可以使传感器采集的信号更加稳定。原理图如图 6 所示。

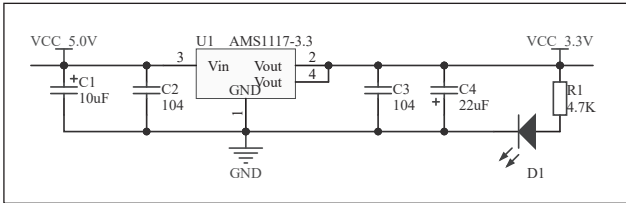


图 6 3V 稳压原理图设计

2.3 电机驱动电路的设计

电机驱动芯片选用 BTN7971B 驱动芯片，它具有逻辑电平输入、电流检测诊断、压摆率调整、死区时间产生以及过温、过压、欠压、过流和短路保护，便于进行控制和电路设计，且驱动能力满足智能车智能视觉组的使用要求。BTN7971B 与其他 BTN7971B 结合使用，可以形成 H 桥电机驱动。

电流采集使用 BTN 的引脚进行负载电流输出，IS 引脚与负载电流成比例（比例一般为 19.5K，具体见芯片数据手册）的电流源，在该引脚上配置检流电阻，可以通过 AD 接口采集到电压

得到相应的电流值。

对 BTN 的使能引脚进行单独控制，配合电流检测可以对 BTN 的使能状态进行控制，检测到过流时，切断 BTN 输出，对电机进行过流保护。

在 BTN 的电源和地之间接 470nf 的电容，进行滤波，减少电机造成的地抖动。图 7 是 BTN7971B 的封装。

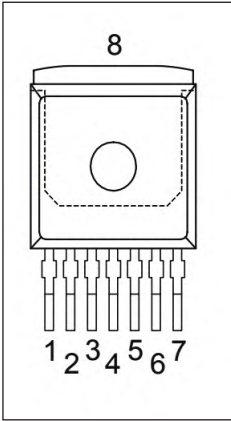


图 7 BTN7971B 封装图

关于 BTN7971B 的引脚定义如表 3 所示。

表3 BTN7971B引脚功能表

管脚号	管脚名字	管脚功能
1	GND	接地端
2	IN	I输入,定义高端或低端开关被激活
3	INH	I禁止端,当设置为低电压,芯片处于睡眠模式
4	OUT	O半桥的电压输出
5	SR	I功率开关的转换速率可以通过在SR和GND之间连接一个电阻来调节
6	IS	O与输出电流成比例的电流源输出,电流检测和诊断
7	VS	电压供给

芯片手册建议的一种 H 桥设计方法如图 8 所示。

参考上面 H 桥设计电路，最终设计了该驱动电路原理

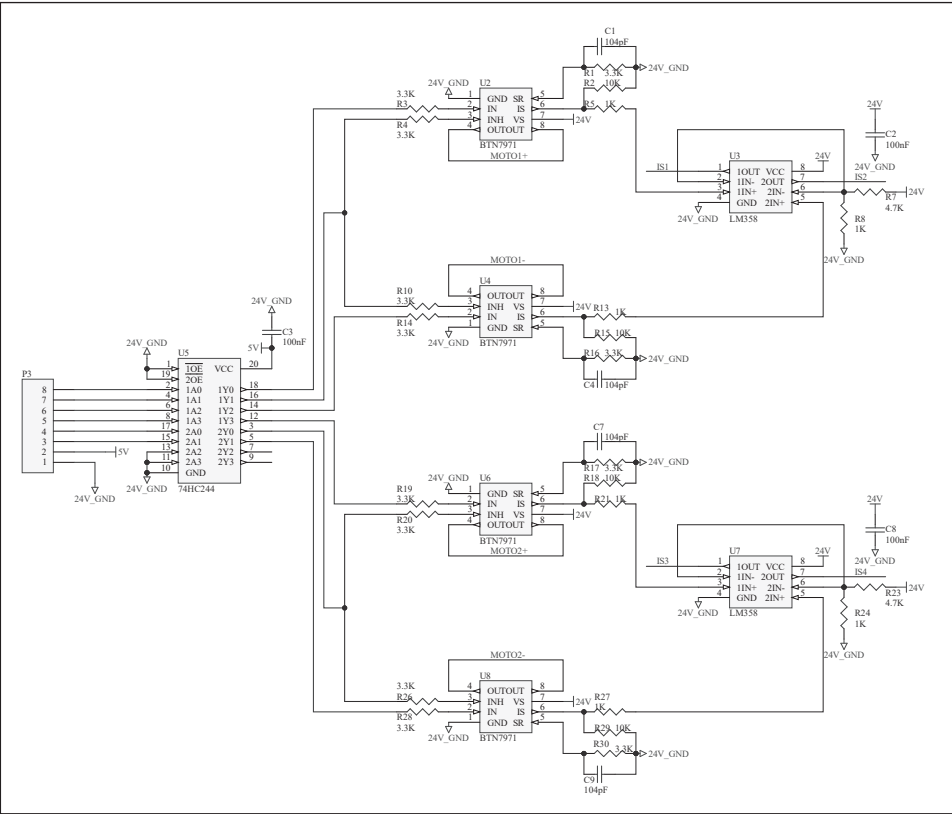


图 8 BTN7971B H 桥推荐电路

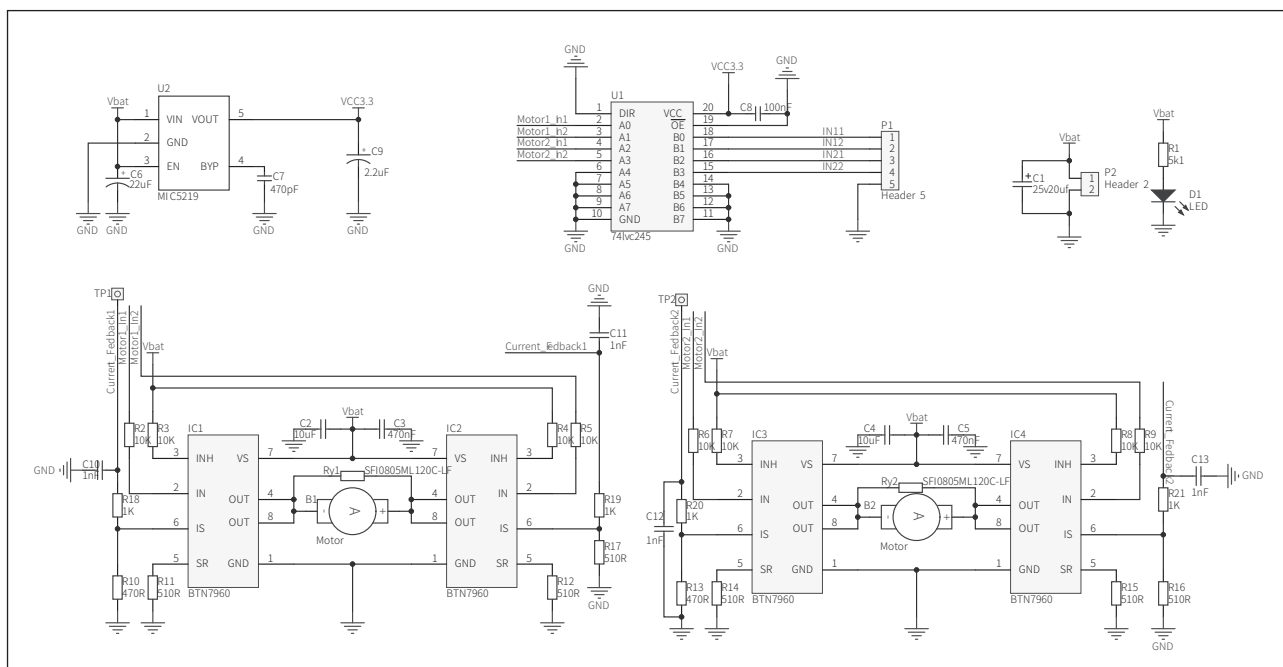


图9 电机驱动原理图

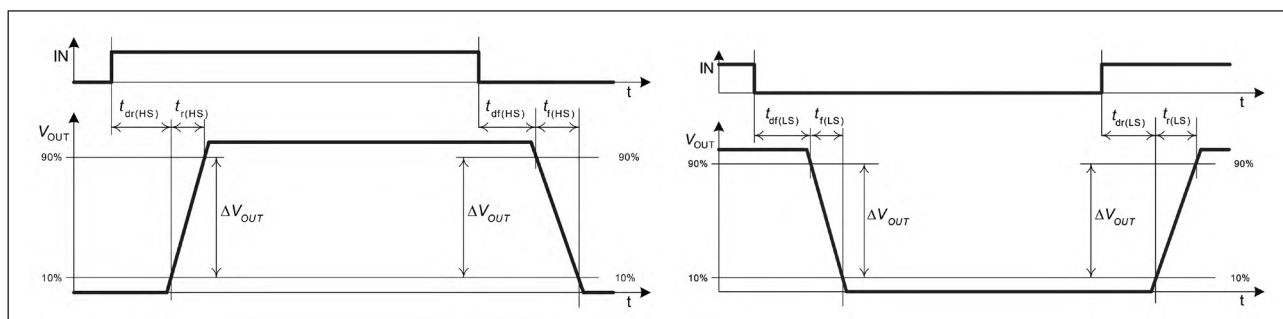


图10 IN和OUT管脚时序图

图如图9所示。

使用两个H桥来控制两个电机，一个H桥由两路PWM组成，可以在IS端接一个ADC管脚，来检测电压，进行过流保护。

图10显示IN管脚和OUT管脚的时序问题，当IN由低变高，OUT会延时一段时间后，再有电压输出，当IN由高变低，OUT会有一段延时，然后由高变低。

## 2.4 主控板的设计

主控板除了包括核心板插针以外，还包括4个编码器接口，一个陀螺仪接口，3个舵机接口，一个电磁铁接口，4路电源接口，两个OpenArt通讯接口，裁判系统接口，PWM输出接口，以及为了调试时使用的LCD接口和一个五项开关两个独立按键。

主控电路原理图如图11所示。

## 2.5 PCB设计

### 2.5.1 主控板PCB设计

主控板的接口和驱动板匹配，普遍使用XH2.54接口，

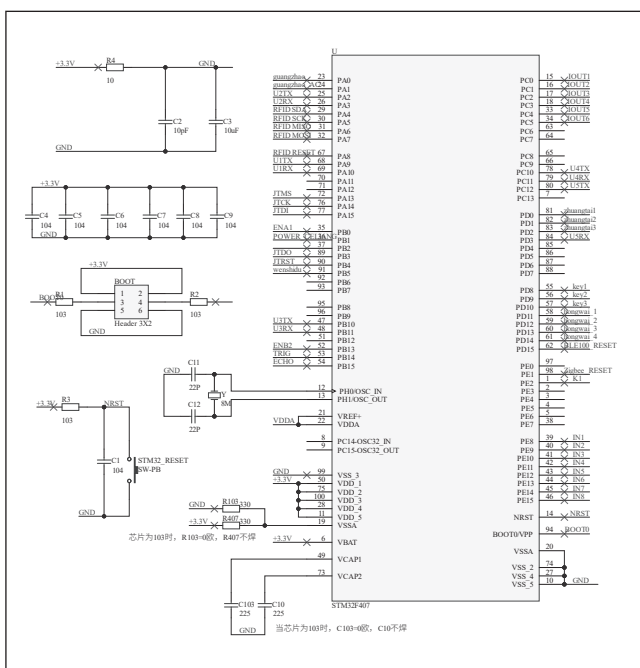


图11 主板原理图

比较牢靠的同时可提供充足的电流。同时为了缩小主控体积，采用了四层板设计，尽可能提高集成度。

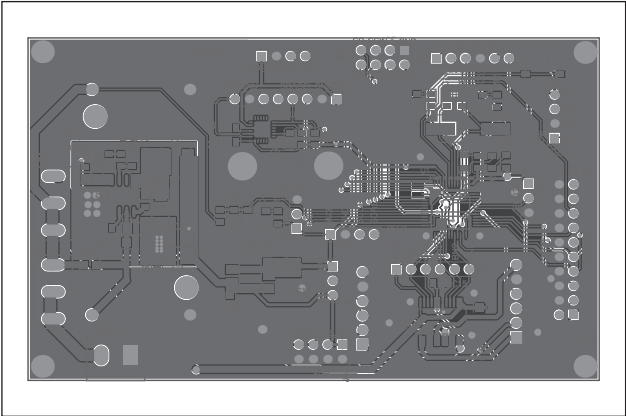


图 12 主控板 PCB 图

2.5.2 电机驱动 PCB 设计

驱动板采取了双面设计，在上下两面都安置有电子器件，这样可以节省空间，节约主控板的面积。由于驱动板过电流比较大，电源供电接口采用 XT30，最大过电流为 30A，完全满足要求。

3 系统软件设计

3.1 软件总体设计

在整个系统上电后，首先对所有传感器模块进行初始化 (电机、陀螺仪、串口等)，结束后将会进入菜单栏目，在这里可以进行功能选项。当按键按下，我们可以选择进入我们的远程控制模式或是搬运模式，也可以进行参数测试与调整。若按键没有按下则持续显示。

在功能检测的子模块中，我们可以对已有的功能进行测试并实现参数的调试。我们可以测试电机、编码器以及各种传感器的基本功能，并与实际功能结合起来进行测试。

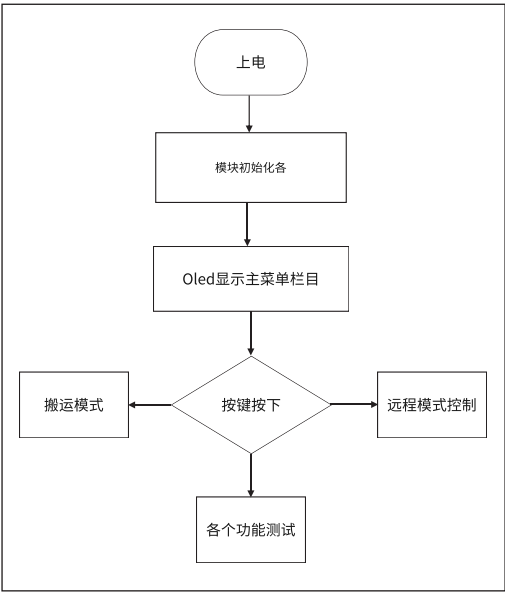


图 13 主程序流程图

例如，我们可以将陀螺仪与电机驱动结合，测试小车能否快速旋转到指定角度或者利用摄像头与串口功能测试下位机路径规划结果等。当结果与预期不符，我们可以进行 PID 参数整定并将参数存储到 SD 卡中，实现断电参数存取，以及线下调参等功能。

在远程控制模块，我们主要利用树莓派来实现远程控制的功能。利用树莓派摄像头，我们可以轻易做到摄像头图像的调取与远程显示，另外我们在远程发送串口指令来实现机器人动作。我们可以通过远程串口指令来控制机器人前、后、左、右运动或定距离行进一段路程，并能控制机械臂进行左右移动，这样除了能改变摄像头视野外还能进行人工控制搬运工作。

在搬运模式下，我们除了可以直接利用机器人内置的摄像头来实现目标的坐标点位提取，还可以通过树莓派来构

建场外摄像头，利用 OpenCV 来实现位置目标位置情况下，坐标点位的识别与计算。获得准确的坐标信息后，利用无线模块将信息传递给机器人，机器人开始工作，不断进行平移、目标识别、机械臂搬运分类这三个流程直至所有目标搬运完毕。然后机器人会

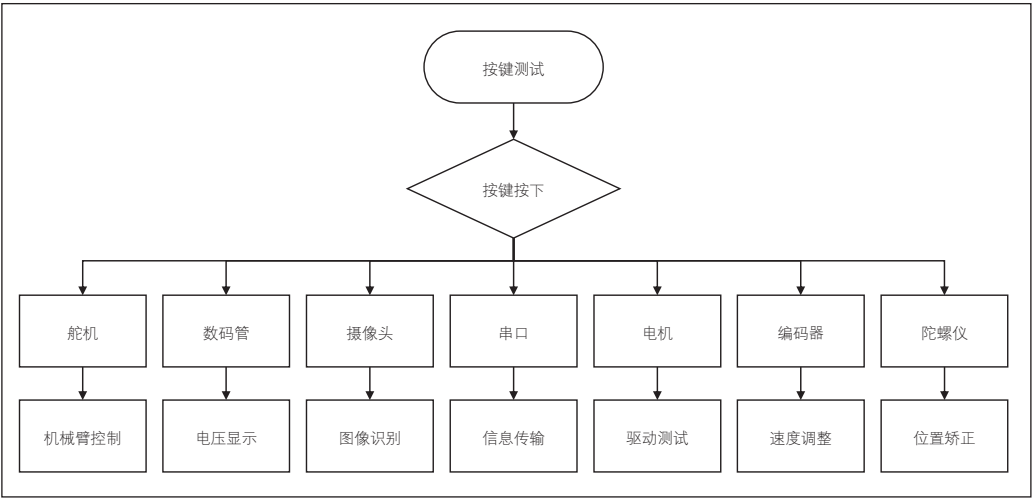


图 14 子程序流程图 1

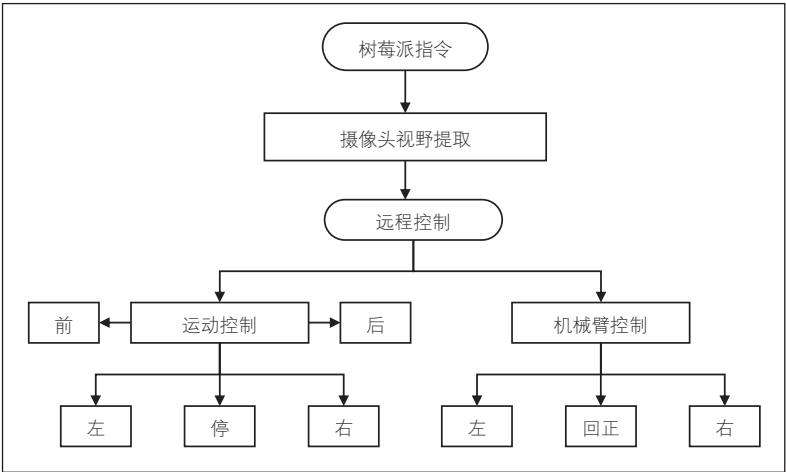


图 15 子程序流程图 2

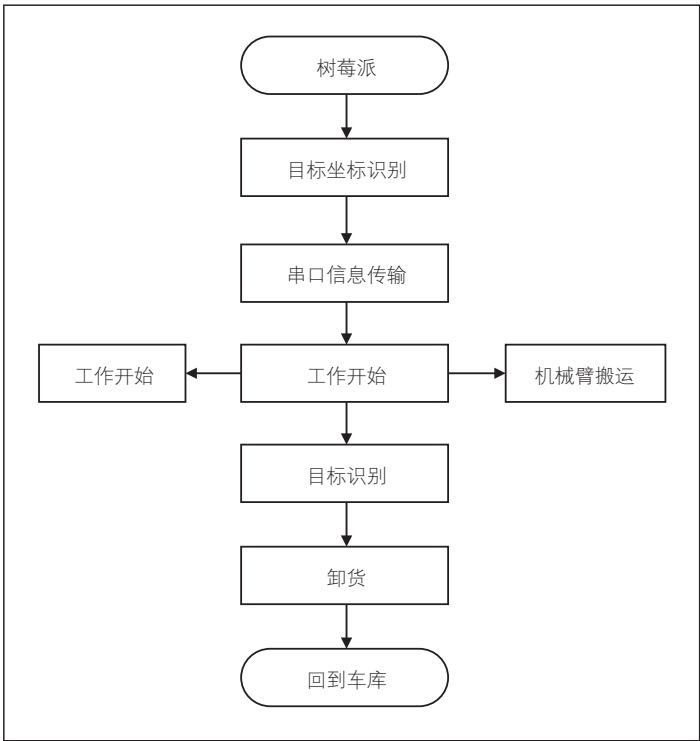


图 16 子程序流程图 3

将分类后的货物卸到目标区域内并自动回到车库。

■ 3.2 控制算法设计

由于我们使用的是麦轮车，所以想要控制好麦轮的行动还需了解麦轮的特点。

麦克纳姆轮（以下简称麦轮）<sup>[1-2]</sup>是由轮毂和围绕轮毂的辊子组成的，辊子是一种没有动力的从动小滚轮，麦克纳姆轮辊子轴线和轮毂轴线夹角是 45 度，并且有互为镜像关系的 A、B 轮两种，或者会被称为左旋轮和右旋轮。这一般会在轮毂上面有标识 A 和 B、L 和 R。前面提到麦轮分 AB 两种，如果 A 轮向前运动时同时向右运动，即斜向右前方运动，那么相反，A 轮向后运动的同时会向左运动，即斜向

左后方运动；相应 B 轮就可以斜向左前和右后方运动。这样的话只要安装正确，我们就可以使车体全向移动。

只需调节 x、y、z 三个方向的速度值即可完成全向移动，而为了使车能够更平滑地启动与停止，我们还编写了速度环及位置环等 PID 控制代码。

同时为了获得当前移动的距离和坐标<sup>[3]</sup>，我们需要利用编码器来计算小车移动的距离，同时，为了减小误差，我们固定了车头方向，由于我们车头是需要保持超前的，因此我们需要用到陀螺仪来实时校正车身的姿态，以防车头不正，产生距离上的误差。

在工业过程控制中<sup>[4-5]</sup>，按被控对象的实时数据采集的信息与给定值比较产生的误差的比例、积分和微分进行控制的控制系统，简称 PID（Proportional Integral Derivative）控制系统。PID 控制具有原理简单，鲁棒性强和适用面广等优点，是一种技术成熟、应用最为广泛的控制系统。我们对电机的速度控制进行了 PID 闭环，每个轮子都有自己单独的 PID，并且在加减速和角度控制上也同样利用了 PID 来进行控制，我们将电机输出的限幅设置在了 40%，在满足速度要求时防止出现一些意外情况导致加减速过快或车失控。运用 PID 控制的关键是调整 KP、KI、KD 三个参数，即参数整定。PID 参数的整定方法有两大类：一是理论计算整定法。它主要是依据系统的数学模型，经过理论计算确定控制器参数；二是工程整定方法，它主要依赖工程经验，直接在控制系统的试验中进行，且方法简单、易于掌握，在工程实际中被广泛采用。

由于我们需要让小车移动到图片面前并识别，单纯地只靠编码器获取的距离值来判断是否到达是很不精准的，因此在到达图片附近后，我们需要利用一个摄像头来帮助我们校正车身的位置，通过摄像头获取到图片的位置信息反馈给主控从而来控制车身向图片面前移动。

4 总结

本作品为基于麦克纳姆轮的智能搬运机器人，除了智能搬运的要求之外，本作品还实现了远程网络连接查看和远程控制，将自动模式和手动模式相结合，拓宽了用途，探索了麦克纳姆轮的新应用。本作品使用可以全向行驶的麦克纳姆轮车模作为载体，使用四个电机，行驶速度快。车模装载有

(下转第 56 页)



图 12 整体显示图

5 结束语

在本设计中,我们通过人体红外传感器来检测公共厕所里有无人员使用,采用温湿度传感器能够实时监测公厕内温湿度情况,水流传感器监测用水量情况,光敏电阻用于监测里面的光线强度,通过空气质量传感器监测空气颗粒物浓度,通过氨气传感器监测公厕内氨气的浓度大小,红外测温传感器用于监测进出厕所人员的体温。最后将所有传感器监测到的信息汇总通过蓝牙模块传输给手机端显示出来,以方

(上接第 62 页)

机械臂可以实现搬运,在机械臂上装载有摄像头,用以进行识别,实现了移动识别和搬运,是一种极大的提升。机器人上搭载树莓派<sup>[6]</sup>,通过网络可以远程调用摄像头,进行实时观察,并且通过串口,可以实现手动控制。

硬件上使用了 RT-1064 单片机,自主设计了 PCB。机械臂结构采用 3D 打印,其中与车模连接件采用自主设计和加装。使用九轴陀螺仪和摄像头等多种传感器,实现了多种传感器共同作用于一个系统的目标。使用航模电池供电,电源输出稳定。

软件编程上,使用自主上位机进行路径规划算法,对于搬运进行规划,减少搬运时耗。搭建深度学习模型,进行学习和识别,实现货物的自动化识别。对机械臂控制算法进行开发,可以实现轻易地准确拾取。通过树莓派连接网络,远程查看实时图像。串口连接下位机,进行控制信息的传输,实现手动控制。使用场外摄像头进行搬运物的定位,获取货物地址。使用了 RT-Thread 嵌入式系统,提高了单片机的

便公厕管理人员管理的目的。

在未来,厕所一定会越来越智能化,将更新的技术融入其中,本次设计利用传感器技术,红外技术,蓝牙技术,多线程技术,I<sup>2</sup>C 通信协议等完成了公共厕所的设计功能。

参考文献

\* [1] 符史山. 单片机技术的应用及发展研究[J]. 轻工科技, 2021,37(04):93-94+126.

\* [2] 韦冬雪.《无线传感网络》之红外人体感应模块的教学设计[J]. 大众科技, 2021,23(02):83-85.

\* [3] 朱金龙,刘桂玲,陶伟唯. 基于单片机和无线蓝牙的温度监测系统的设计[J]. 信息技术与信息化, 2021(04):184-186.

\* [4] 蒋力耀,崔勇,张耀阳. 基于 STM32F103ZET6 单片机的地铁站环境监测系统设计[J]. 电子测试, 2021(09):33-34+17.

\* [5] 马龙,邓素碧,何铭. 基于物联网的实时空气质量智能闹钟系统[J]. 物联网技术, 2021,11(01):101-104.

\* [6] 郭红英,林梅燕. 基于 STM32 的智能马桶漏水检测仪设计[J]. 绵阳师范学院学报, 2020,39(11):32-36.

\* [7] 晋成凤,查晓锐,张明艳. 基于 I2C 总线扩展 LED 驱动的实现方法[J]. 电子制作, 2020(23):6-8+68.

\* [8] 崔弘. 基于 STM32 单片机的家用智能立体种植系统设计[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2021,37(04):22-26.

使用效率。

参考文献

\* [1] 邓峰. 基于 PID 算法的高速寻迹麦克纳姆轮底盘系统设计[J]. 电子测试, 2022,36(10):30-32+67.

\* [2] 叶航. 智能移动机器人(麦轮)[P]. 江苏省: CN30752112 0S, 2022-08-30.

\* [3] 杨朋帅,王琪,王维西,周靖喻,高进可. 基于麦克纳姆轮的智能车寻迹控制策略研究[J]. 工业控制计算机, 2022,35(02):112-115.

\* [4] 刘鑫,杨志祥,熊筠珂,程佳斌,余将其,皮辉,杨小涛,谈俊,郭朝霞,许雷,范俊甫,蔡烨彬,谢倩. 一种基于全连接神经网络优化的图像识别方法[P]. 湖北省: CN114912589B, 2022-10-04.

\* [5] Manzl Peter and Gerstmayr Johannes. An Improved Dynamic Model of the Mecanum Wheel for Multibody Simulations[C]. Virtual, Online, 2021.

\* [6] 王雨凡,张雨好,黄旭,孙涛,林健平,张高远. 基于树莓派的移动智能监控系统设计[J]. 山西电子技术, 2022(05):7-9.